

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМНОЇ КАРТИ БЛОКУ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АРХІВНОЇ БАЗИ ДАНИХ АСУТП

Анотація. Представлено методику оптимізації режимних карт блоку повітрянагрівачів доменних печей на основі інтелектуального аналізу архівних даних АСУТП. Виконано статистичний аналіз експлуатаційних параметрів за семимісячний період роботи блоку. Встановлено залежності тривалості нагріву насадки від температури купола та обсягу спожитого доменного газу для чотирьох діапазонів його середньої витрати. Коефіцієнт детермінації отриманих залежностей перевищує 0,82, що свідчить про високу адекватність математичних моделей. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для автоматизованого визначення функціональних взаємозв'язків технологічних параметрів. Результати дослідження дозволяють ідентифікувати реальний технічний стан кожного повітрянагрівача та сформулювати рекомендації щодо індивідуального налаштування режимів їх експлуатації для підвищення температури гарячого дуття без додаткових капіталовкладень.

Ключові слова: повітрянагрівач, доменна піч, режимна карта, АСУТП, архівна база даних, статистичний аналіз, температура дуття, оптимізація, математичне моделювання.

Вступ. Незалежно від технічного стану обладнання блоку повітрянагрівачів, ключовим завданням системи автоматизованого керування залишається стабілізація температури гарячого дуття на заданому технологічному рівні [1-3]. Температура дуття визначає інтенсивність та ефективність доменної плавки, тому її максимізація за умови мінімальних капітальних витрат є стратегічним пріоритетом підвищення продуктивності доменного виробництва.

Традиційно підвищення температури дуття досягається через модернізацію конструкцій повітрянагрівачів, впровадження прогресивних типів насадок, заміну доменного газу на природний або перехід на паралельний режим роботи блоку. Проте існує альтернативний підхід, що не потребує значних інвестицій - оптимізація параметрів системи автоматизації на основі глибокого аналізу архівних та оперативних даних АСУТП [4, 5].

Типовий блок повітрянагрівачів доменної печі включає від 3 до 5 агрегатів. Кожен повітрянагрівач функціонує як регенеративний теплообмінник, що працює в циклічному режимі з чергуванням двох періодів: акумуляція теплоти в насадці (нагрів насадки) та віддача теплоти холодному дуттю (нагрів дуття).

Синхронна робота блоку та безперервна подача гарячого дуття до доменної печі забезпечується чітко регламентованою режимною картою. Будь-яка зміна параметрів роботи окремого повітрянагрівача неминує впливає на функціонування всього блоку та вимагає коригування режимної карти. За послідовної схеми роботи максимально досяжна температура дуття лімітується характеристиками найменш ефективного повітрянагрівача в блоці.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані і вирішені такі завдання:

- Виконати комплексний аналіз архівної бази даних АСУТП блоку повітрянагрівачів.
- Встановити кількісні залежності тривалості періоду нагріву насадки від максимальної температури купола та обсягу використаного палива для різних режимів його витрати.
- Сформувані практичні рекомендації щодо оптимізації режимних карт блоку повітрянагрівачів.

Основний зміст роботи. Під час виконання поставлених завдань були використані наступні методи та інструменти:

- Математичне моделювання, кореляційно-регресійний аналіз, методи описової статистики, концепція Six Sigma.
- Програмні середовища: MS Visual Studio, MATLAB, Scilab, MS Excel.

В попередньому дослідженні [5] авторами створено програмні модулі для аналізу архівної інформації АСУТП та побудови багатопараметричних функціональних залежностей з контрольованою фіксацією окремих змінних. За результатами обробки семимісячного масиву даних побудовано залежності тривалості нагріву насадки від середньої температури купола та витрати доменного газу для різних режимів інтенсивності спалювання з коефіцієнтом детермінації $R^2 > 0,82$ (рис. 1). На основі отриманих емпіричних залежностей ідентифіковано параметри математичної моделі процесу [6].

У ході статистичної обробки експериментальних даних весь діапазон середньої витрати доменного газу розподілено на чотири інтервали з кроком, що дорівнює стандартному відхиленню σ . Для кожного повітрянагрівача блоку отримано по чотири функціональні залежності у відповідних діапазонах витрат.

Отримані функціональні залежності (рис. 1) створюють аналітичну базу для об'єктивної оцінки теплотехнічної ефективності кожного повітрянагрівача та діагностики його фактичного стану.

На основі виконаного аналізу архівних даних АСУТП та встановлених закономірностей розроблено комплекс заходів оптимізації режимних карт блоку повітрянагрівачів в якості адаптивної корекції режимної карти в реальному часі. Впровадження системи оперативного коригування режимної карти передбачає: застосування ідентифікованих математичних моделей для прогнозування моменту досягнення цільової температури купола; автоматичне регулювання тривалості фази нагріву на основі поточних відхилень від розрахункових траєкторій; інтеграцію алгоритмів машинного навчання для самоадаптації параметрів з урахуванням зміни зовнішніх умов та деградації обладнання

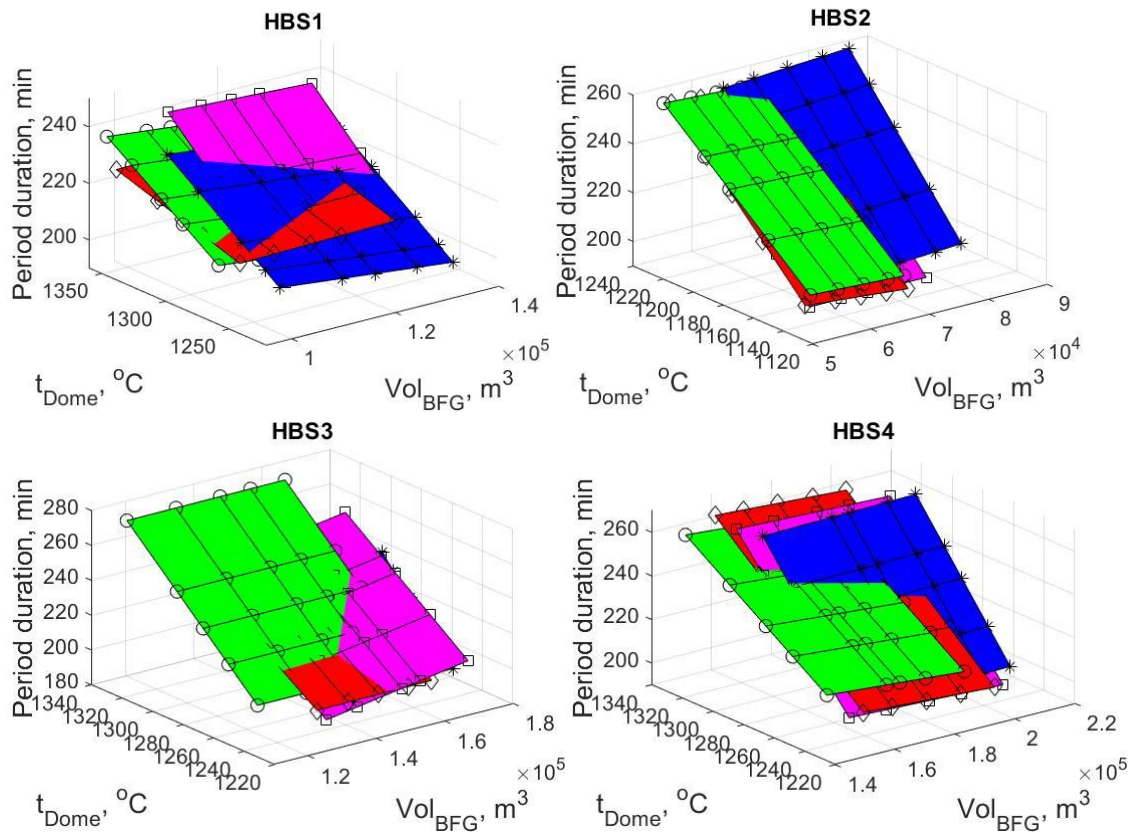
Пропонується поетапна імплементація оптимізованих режимів:

1. Експериментальна апробація індивідуальних режимів на пілотному повітрянагрівачі.

2. Масштабування динамічного регулювання витрати палива на всі агрегати блоку.

3. Інтеграція алгоритмів прогнозування та адаптації в архітектуру АСУТП.

4. Безперервний моніторинг ключових показників ефективності та ітераційне налаштування.



Інтервали: $[-2\sigma; -1\sigma]$ $[-1\sigma; 0\sigma]$ $[0\sigma; 1\sigma]$ $[1\sigma; 2\sigma]$

Для $[41584 \div 43784]$, $[43784 \div 45984]$, $[45984 \div 48184]$,

$[48184 \div 50384]$ при $\sigma = 2200 \text{ м}^3/\text{год}$

Рис. 1. Залежність тривалості періоду нагріву насадки доменного повітрянагрівача (HBS1-4) від середньої температури купола t_{Dome} та використаного об'єму доменного газу Vol_{BFG} при різних діапазонах середньої витрати доменного газу за період нагріву

Оптимізація режимних карт прогнозовано забезпечить підвищення середньої температури гарячого дуття на $15\text{-}25^\circ\text{C}$, скорочення питомої витрати палива на $3\text{-}5\%$, зменшення стандартного відхилення температури дуття, стабілізація технологічного процесу, подовження міжремонтного інтервалу завдяки оптимізації теплового режиму.

Наукова новизна розробки полягає в розробці методології оптимізації режимних карт доменних повітрянагрівачів на основі інтелектуального аналізу експлуатаційних даних АСУТП з використанням методів багатопараметричної

статистики та ідентифікації математичних моделей. Вперше побудовано сімейства емпіричних залежностей тривалості акумуляції теплоти від комплексу визначальних параметрів (температура купола, витрата та обсяг доменного газу) для індивідуальних повітрянагрівачів, що забезпечує можливість диференційованого керування їх роботою в рамках єдиного технологічного блоку.

Висновки. Розроблено та експериментально апробовано методологію статистичного аналізу архівних даних АСУТП блоку повітрянагрівачів, яка на основі обробки семимісячного масиву експлуатаційної інформації дозволила встановити достовірні функціональні залежності ($R^2 > 0,82$) між тривалістю фази нагріву насадки, температурою купола та обсягом доменного газу для чотирьох діапазонів його витрати, стратифікованих за концепцією Six Sigma. Створений програмний комплекс забезпечує автоматизовану діагностику ефективності функціонування кожного повітрянагрівача та формування індивідуалізованих режимних карт відповідно до реального технічного стану обладнання. Впровадження запропонованої методології створює передумови для підвищення температури гарячого дуття на 15-25°C, скорочення питомих витрат палива на 3-5%, стабілізації температурного режиму та подовження міжремонтних інтервалів експлуатації без значних капітальних інвестицій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Грес Л.П., Карпенко С.А., Миленина А.Є. Теплообмінники доменних печей. Дніпропетровськ: «Пороги», 2012, 491 с.
2. Modern Blast Furnace Ironmaking / M. Geerdes et al. IOS Press, 2020. URL: <https://doi.org/10.3233/stal9781643681238>
3. Treatise on Process Metallurgy. Elsevier, 2014. URL: <https://doi.org/10.1016/c2010-0-67121-5>
4. Koifman, O., Rukhlov, A., Rukhlova, N., Miroshnychenko, V., Proszowska, A., & Polyanska, A. (2025). Reducing emissions from hot blast stoves by configuring an automated control system. *Polityka Energetyczna-Energy Policy Journal*, 195-216. <https://doi.org/10.33223/epj/207021>
5. Koifman, O., Simkin, O., & Serdiuk, K. (2020). Intelligence analysis method of automation control system archive database for controlling hot blast stove block. *Computer Modeling and Intelligent Systems*, 2608, 102–117. <https://doi.org/10.32782/cm/2608-9>
6. Koifman, A., & Simkin, A. (2019). Development and Software Implementation of the Hot Blast Stove Computer Model. *Computer Modeling and Intelligent Systems*, 2353, 440–454. <https://doi.org/10.32782/cm/2353-35>